

## 红外预警卫星空间虚警源辐射特性分析

李文杰, 宋泽正, 李广波, 闫世强, 欧阳琰, 王成良

(空军预警学院, 湖北 武汉 430019)

**摘要:** 针对红外预警卫星的虚警问题, 研究了地球同步轨道红外预警卫星的空间辐射环境。在计算卫星探测谱段内的地球背景辐射特性并将其作为衡量基准的基础上, 分析了空间环境中可能造成红外预警卫星虚警的辐射源, 并对各种空间辐射源在红外预警卫星短波探测谱段 2.63~2.83  $\mu\text{m}$  和中波探测谱段 4.18~4.50  $\mu\text{m}$  的辐射特性进行了数值计算。结果表明: 太阳直接辐射对卫星探测器的辐照度远大于卫星的背景辐射强度, 应采取规避措施; 红外预警卫星的主要虚警源为月球辐射和近地轨道航天器辐射; 月球辐射的影响主要来自镜头的聚焦作用; 近地轨道航天器辐射的影响发生在红外预警卫星的中波探测谱段, 研究结果可为研究相应的背景抑制及虚警源识别技术提供参考。

**关键词:** 红外预警卫星; 虚警; 月球辐射; 航天器辐射

**中图分类号:** TN977 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201948.0304002

## Radiation characteristics analysis of space false alarm sources for infrared early warning satellite

Li Wenjie, Song Zezheng, Li Guangbo, Yan Shiqiang, Ouyang Yan, Wang Chengliang

(Air Force Early Warning Academy, Wuhan 430019, China)

**Abstract:** According to the false alarm problem in infrared early warning satellite, the space radiation environment of the geosynchronous orbit infrared early warning satellite was studied. Based on the analysis of satellite's background radiation characteristics in the detection spectrum and as a benchmark, the radiation sources in space environment that may cause false alarms of infrared early warning satellite were analyzed. The radiation characteristics of various sources in the 2.63–2.83  $\mu\text{m}$  short-wave detection spectrum and the 4.18–4.50  $\mu\text{m}$  medium-wave detection spectrum of infrared early warning satellite were discussed and calculated individually. The results show that the irradiance of direct solar radiation on the satellite detector is much larger than the background radiation intensity of the satellite, so evasive measures should be taken. The main false alarm sources of infrared early warning satellite are lunar radiation and low-Earth orbit spacecraft radiation. The influence of lunar radiation is mainly due to the focusing factor of lens. The influence of near-Earth orbit spacecraft radiation occurs in the mid-wave detection spectrum of infrared early warning satellite. The research results can provide reference for the study of corresponding background suppression and false alarm sources identification technology.

**Key words:** infrared early warning satellite; false alarm; lunar radiation; spacecraft radiation

收稿日期: 2018-10-15; 修订日期: 2018-11-23

基金项目: 国家自然科学基金(61503410)

作者简介: 李文杰(1991-), 男, 博士生, 主要从事预警装备运用方面的研究。Email: kfcvs@qq.com

导师简介: 闫世强(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事军事装备学方面的研究。Email: 18627001678@qq.com

## 0 引言

红外预警卫星 (Infrared Early Warning Satellite, IEWS) 在弹道导弹防御体系中担负着重要任务,其通过探测弹道导弹尾焰的红外辐射以发现目标并持续进行跟踪,可为反导拦截作战提供有效预警时间和跟踪识别。目前最具代表的红外预警卫星系统包括美国的国防支援计划 (Defense Support Program, DSP) 预警卫星以及正在发展的天基红外系统 (Space Based Infrared System, SBIRS)。DSP 预警卫星由于自身探测能力不足以及存在虚警和漏警的问题<sup>[1]</sup>,已逐步被 SBIRS 预警卫星系统所替代。SBIRS 预警卫星上搭载了扫描型和凝视型两种探测器,在探测技术和性能方面有了较大改进,虽然有效地降低了虚警率,但是虚警问题并没有得到完全解决。因此笔者从虚警源辐射特性分析的角度出发,以地球同步轨道红外预警卫星(简称红外预警卫星)为研究对象,对各种潜在的空间虚警源的辐射特性进行分析,研究结果可为红外预警卫星背景抑制及虚警源识别技术提供参考,实现高探测率、低虚警率的准确预警。

## 1 卫星背景辐射特性分析

红外预警卫星的最佳探测谱段为 2.63~2.83 μm 和 4.18~4.50 μm<sup>[2]</sup>,同时也是弹道导弹目标红外辐射较强的谱段。因此,文中对空间虚警源的研究主要集中在 2.63~2.83 μm 的短波探测谱段和 4.18~4.50 μm 的中波探测谱段。图 1 展示了红外预警卫星的背景辐射源,主要有宇宙背景辐射 (Cosmic Microwave Background, CMB) 和地球背景辐射。

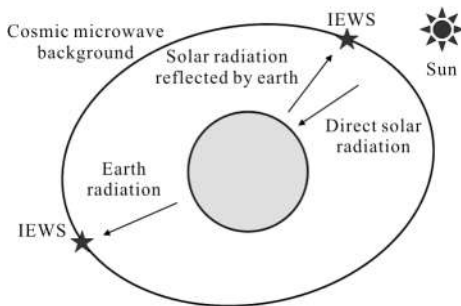


图 1 红外预警卫星的主要背景辐射

Fig.1 Main background radiation source of infrared early warning satellites

是来自宇宙空间背景上的各向同性或者黑体形式和各向异性的微波辐射,等效于绝对温度为 2.725 K 的黑体<sup>[3]</sup>;地球背景辐射是红外预警卫星探测视野中的主要背景辐射源,又分为地球反射的太阳辐射和地球自身辐射,因此文中计算背景辐射时以地球背景辐射为主,并将其作为衡量辐射源是否造成红外预警卫星虚警的标准。

### 1.1 地球反射太阳辐射

地球反射的太阳辐射主要来自地球大气内的云层和尘埃对太阳辐射的反射,通常认为是均匀的漫反射。要计算在短波探测谱段和中波探测谱段内红外预警卫星接收到地球反射太阳辐射的辐照度,首先要得到各谱段太阳辐射到达地球大气表面的辐照度。

太阳与地球之间的平均距离为  $1.496 \times 10^8$  km,即 1 AU。当日地距离为 1 时,太阳在地球大气层外产生的总辐照度为  $E_0 = 0.1353 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$  (太阳常数),利用黑体辐射的 Stefan-Boltzmann 定律时,可以求得太阳等效为  $T_s = 5772 \text{ K}$  的黑体<sup>[4]</sup>。

假设太阳辐射在宇宙空间传播时光谱能量的分布保持不变,则某一谱段范围内的太阳辐照度可以通过该谱段内的光谱能量占全部光谱能量的比例来求解。

根据 Stefan-Boltzmann 定律,太阳向外辐射的全光谱辐射出射度为:

$$W_0 = \int_0^{\infty} W_s(\lambda) d\lambda = \sigma T_s^4 \quad (1)$$

式中:  $\lambda$  为波长;  $W_s(\lambda)$  为太阳某一谱段内的光谱能量;  $\sigma = 5.6697 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ , 为 Stefan-Boltzmann 常数。

根据普朗克黑体辐射公式可得太阳在  $\lambda$  波段的光谱辐射出射度为:

$$W_s(\lambda) = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T_s}} - 1} \quad (2)$$

通过对公式(2)进行积分可得谱段  $\lambda_1 \sim \lambda_2$  范围内太阳的辐射出射度为:

$$W_s(\lambda_1, \lambda_2) = \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} W_s(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T_s}} - 1} d\lambda \quad (3)$$

式中:  $c_1 = 3.7418 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^4$  (第一辐射常数);  $c_2 = 1.4388 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{K}$  (第二辐射常数)。

地球在谱段  $\lambda_1 \sim \lambda_2$  范围内接收到太阳的辐照度可表示为:

$$E_s(\lambda_1, \lambda_2) = E_0 \cdot \frac{W_s(\lambda_1, \lambda_2)}{W_0} \quad (4)$$

利用公式(4)对短波探测谱段和中波探测谱段范围内的太阳辐照度进行计算, 结果分别为:  $713.53 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$  和  $216.28 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

地球反射太阳辐射的程度一般用反射率来表示。全球平均而言, 地球大气对太阳辐射的平均球面反射率通常取 0.3, 因此, 在谱段  $\lambda_1 \sim \lambda_2$  范围内地球反射的太阳辐射在红外预警卫星处的辐照度可表示为:

$$E(\lambda_1, \lambda_2) = \rho_e E_s(\lambda_1, \lambda_2) \left( \frac{R_e}{d_e} \right)^2 \quad (5)$$

式中:  $\rho_e=0.3$ , 为地球的球面反射率;  $R_e=6371 \text{ km}$ , 为地球半径;  $d_e=4.216 \times 10^4 \text{ km}$ , 为红外预警卫星与地球中心的距离。

代入计算得到在短波探测谱段和中波探测谱段范围内地球反射太阳辐射在红外预警卫星处的辐照度为  $4.89 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$  和  $1.48 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

### 1.2 地球自身辐射

对于卫星而言, 当地球对太阳辐射的反射率为 0.3 时, 可以近似地将地球认为等效为  $T_e=255 \text{ K}$  的黑体<sup>[5]</sup>, 其辐射特性遵守朗伯定律。根据普朗克黑体辐射公式可以得到地球的光谱辐射出射度为:

$$W_e(\lambda) = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T_e}} - 1} \quad (6)$$

图 2 为地球自身辐射的光谱辐射出射度曲线, 则红外预警卫星接收到地球自身辐射的光谱辐照度

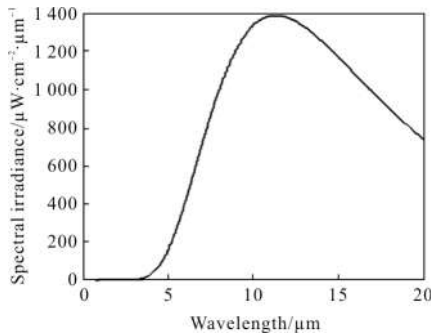


图 2 地球自身辐射光谱辐射出射度  
Fig.2 Spectral irradiance of earth radiation

可表示为:

$$W_{\text{sat}}(\lambda) = W_e(\lambda) \left( \frac{R_e}{d_e} \right)^2 \quad (7)$$

通过对公式(7)进行积分可得到在谱段  $\lambda_1 \sim \lambda_2$  范围内地球对红外预警卫星的辐照度为:

$$W_{\text{sat}}(\lambda_1, \lambda_2) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_{\text{sat}}(\lambda) d\lambda \quad (8)$$

由公式(8)计算得到红外预警卫星在短波探测谱段和中波探测谱段范围内地球自身辐射对红外预警卫星的辐照度为  $1.25 \times 10^{-3} \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$  和  $0.41 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

由此可见, 地球背景辐射主要来自地球反射的太阳辐射,  $2.63 \sim 2.83 \mu\text{m}$  谱段的总辐照度为  $4.90 \mu\text{W}$ ;  $4.18 \sim 4.50 \mu\text{m}$  谱段的总辐照度为  $1.89 \mu\text{W}$ 。下文将以地球背景辐射为基准进行分析, 发现能够造成红外预警卫星虚警的空间辐射源。

## 2 空间目标虚警源辐射特性分析

红外预警卫星在地球同步轨道的空间辐射环境如图 3 所示, 主要有太阳直接辐射、月球辐射、行星辐射以及近地轨道航天器辐射。

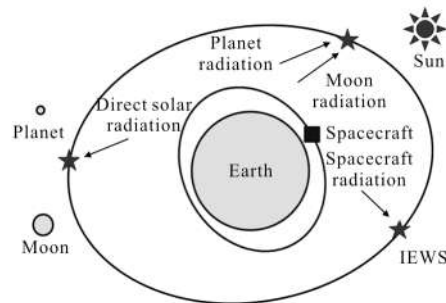


图 3 红外预警卫星的主要空间辐射源  
Fig.3 Main space radiation environment of infrared early warning satellites

忽略红外预警卫星空间分辨率造成的影响, 当辐射源处于红外预警卫星视场内时, 辐射源的辐射能量将进入探测器, 如果探测器接收到的能量高于探测阈值, 则会引发系统告警, 因此需要逐个对每种辐射源进行分析。

### 2.1 太阳直接辐射

太阳是距离地球最近的恒星天体, 由于太阳外的其他恒星距离地球十分遥远 (比邻星是距离太阳系最近的恒星, 距离为 4.22 光年), 对红外预警卫星

的影响很小,可以忽略。

由于地球同步轨道高度远小于日地距离,可以忽略,因此红外预警卫星在短波探测谱段和中波探测谱段范围内的太阳辐照度可以近似于太阳对地球的辐照度,分别为  $713.53 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$  和  $216.28 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ,均远大于背景辐射强度。而且由于镜头的聚焦因素,最终探测器像元上接收到的太阳辐照度还会更高,甚至烧毁探测器,因此对于太阳直接辐射,应该采取规避措施。

### 2.2 月球辐射

月球辐射主要包含月球反射太阳辐射和月球自身辐射。月球半径为  $1\,738 \text{ km}$ ,地月最近距离为  $3.63 \times 10^5 \text{ km}$ ,假设月球相对红外预警卫星为满月状态,此时日月距离为  $d_m = 1.51 \times 10^6 \text{ km}$ ,卫星与月亮距离  $3.99 \times 10^5 \text{ km}$ 。

#### (1) 月球反射太阳辐射

对于月球反射太阳辐射,首先要计算太阳对月球的辐照度,太阳的半径为  $R_s = 6.69 \times 10^5 \text{ km}$ ,因此太阳对月球的光谱辐照度可表示为:

$$E_m(\lambda_1, \lambda_2) = W_s(\lambda_1, \lambda_2) \left( \frac{R_s}{d_m} \right)^2 \quad (9)$$

通过计算得到在短波探测谱段和中波探测谱段范围内太阳对月球的辐照度为  $651.45 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$  和  $197.46 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。月球正面的平均球面反射率约为  $0.09^{[6]}$ ,利用上文中地球反射太阳辐射的计算方法可以得到红外预警卫星在短波探测谱段和中波探测谱段范围内接收到月球反射太阳辐射的辐照度为  $1.10 \times 10^{-3} \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$  和  $3.35 \times 10^{-4} \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

#### (2) 月球自身辐射

对于月球自身辐射,相当于温度为  $400 \text{ K}$  的绝对黑体<sup>[7]</sup>,图 4 为月球自身辐射的光谱辐射出射度曲线,利用计算地球自身辐射的方法可以得到月球自身辐射在短波探测谱段和中波探测谱段范围内的辐照度为  $1.78 \times 10^{-3} \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$  和  $3.68 \times 10^{-2} \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

月球辐射在短波探测谱段的总辐照度为  $2.88 \times 10^{-3} \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ,中波探测谱段的总辐照度为  $3.71 \times 10^{-2} \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ,均小于地球背景辐射的辐照度。但考虑到月球相对于红外预警卫星是面目标,当月球的背景为宇宙背景时,镜头的聚焦作用会使得探测器像元上接收到的月球辐照度成倍增大,甚至超过告警

系统的探测阈值,从而造成红外预警卫星虚警。

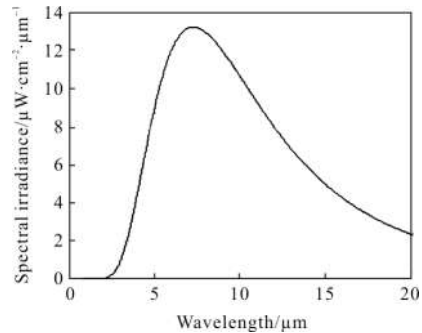


图 4 月球自身辐射光谱辐射出射度

Fig.4 Spectral irradiance of lunar radiation

### 2.3 行星辐射

行星辐射包含行星反射的太阳辐射和行星自身辐射。美国国家航空航天局 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 发布了太阳系内行星的详细物理参数与对应的等效黑体温度<sup>[8]</sup>,具体如表 1 所示。

表 1 行星物理特性参数及等效黑体温度

Tab.1 Planet physical properties parameters and effective black-body temperature

	Mean radius/km	Perigee/ $10^6 \text{ km}$	Semimajor axis/ $10^6 \text{ km}$	Bond albedo	Black-body temperature/ K
Mercury	2 440	77.3	57.9	6.8%	439.6
Venus	6 051	38.2	108.2	77.0%	226.6
Mars	3 389	55.7	227.6	25.0%	209.8
Jupiter	71 492	588.5	778.6	34.3%	109.9
Saturn	60 268	1 195.5	1 433.5	34.2%	81.0
Uranus	25 559	2 581.9	2 872.5	30.0%	58.1
Neptune	24 764	4 305.9	4 495.1	29.0%	46.6

为了获得行星辐射对红外预警卫星的最大辐照度,采用各行星与地球的近地点作为基准。在短波探测谱段和中波探测谱段范围内,利用计算地球反射太阳辐射的计算方法可以得到各行星反射太阳辐射对红外预警卫星的辐照度;

通过运用地球自身辐射的计算方法可以得到各行星自身辐射对卫星的辐照度。通过计算得到除地球外的各大行星在  $2.63 \sim 2.83 \mu\text{m}$  和  $4.18 \sim 4.50 \mu\text{m}$

谱段对红外预警卫星的辐照度,结果如表 2 所示。可见行星对红外预警卫星各探测谱段的辐照度均远小于地球背景辐射,而且行星距离红外预警卫星很远,相对于探测器为点目标,镜头的聚焦作用也不足以使探测器像元接收到的行星辐射达到告警阈值,因此不会对红外预警卫星的探测造成影响。

表 2 探测谱段行星总辐照度

Tab.2 Planet's total irradiance in the probe spectrum

	Total irradiance of short-wave spectrum/ $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$	Total irradiance of mid-wave spectrum/ $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$
Mercury	$6.07\times 10^{-7}$	$4.20\times 10^{-6}$
Venus	$2.45\times 10^{-5}$	$7.50\times 10^{-6}$
Mars	$2.65\times 10^{-7}$	$8.44\times 10^{-8}$
Jupiter	$1.24\times 10^{-7}$	$3.76\times 10^{-8}$
Saturn	$2.14\times 10^{-8}$	$6.47\times 10^{-9}$
Uranus	$5.29\times 10^{-11}$	$1.60\times 10^{-11}$
Neptune	$7.05\times 10^{-12}$	$2.14\times 10^{-12}$

### 2.4 近地轨道航天器辐射

近地轨道航天器的辐射特性主要受到航天器自发辐射、太阳辐射、地球自身辐射和地球反射太阳辐射的影响<sup>[9]</sup>。为简化分析,文中假设红外预警卫星与航天器所在直线和太阳辐射方向相同,其空间关系如图 5 所示,此时航天器对红外预警卫星的影响主要是航天器自身辐射与其反射的太阳辐射。由于此时航天器在红外预警卫星的视野范围中处于地球圆盘内,忽略由卫星探测分辨率造成的影响,可通过将探测谱段范围内航天器的辐射出射度与地球背景的辐射出射度进行比较,若航天器的辐射出射度更高,则表明航天器不会淹没在地球背景当中,会对红外预警卫星的探测造成影响。

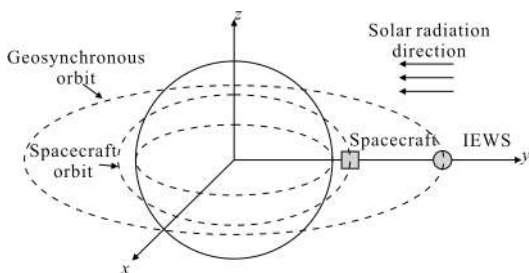


图 5 航天器、红外预警卫星和太阳辐射方向的空间关系

Fig.5 Space relation among spacecraft, infrared early warning satellites and solar radiation direction

忽略内热源的影响,则航天器单元的热平衡方程<sup>[10]</sup>为:

$$A\varepsilon_s\sigma T_p^4 = \alpha_s E_0 A_{ps} + \alpha_s W_{e-ref} A_{pe} + \alpha_s W_e A_{pe} \quad (10)$$

$$W_{e-ref} = E_{e-ref} \left( \frac{R_e}{R_e + h} \right)^2 \quad (11)$$

$$W_e = E_e \left( \frac{R_e}{R_e + h} \right)^2 \quad (12)$$

式中: $A$ 为航天器单元表面积; $\varepsilon_s$ 为航天器单元表面的发射率; $T_p$ 为航天器单元表面的绝对温度; $\alpha_s$ 为航天器单元对辐射的吸收率; $A_{ps}$ 为航天器单元对太阳的投影面积; $W_{e-ref}$ 为地球反射太阳辐射对航天器的辐照度; $A_{pe}$ 为航天器单元对地球的投影面积; $W_e$ 为地球自身辐射对航天器的辐照度; $E_{e-ref} = 4.06\times 10^{-2} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ,为地球对太阳辐射的反射常数;地球的自身辐射常数  $E_e = 2.372.37\times 10^{-2} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ;  $R_e = 6\,371 \text{ km}$ ,为地球半径; $h$ 为航天器轨道高度。

参考文献[11]提供了在轨空间目标的红外辐射特性数学模型,航天器在  $\lambda_1 \sim \lambda_2$  谱段内的自身辐射出射度可表示为:

$$W_{self} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{c_2/\lambda T_p} - 1} d\lambda \quad (13)$$

近地轨道航天器处的太阳辐照度可以近似成地球大气表面太阳辐射,则在谱段  $\lambda_1 \sim \lambda_2$  范围内航天器单元表面反射太阳辐射的辐射功率可表示为:

$$W_{s-ref} = \frac{\rho_s R_s^2 W_s(\lambda_1, \lambda_2)}{d_{sun}^2} \quad (14)$$

式中: $d_{sun} = 1.496\times 10^8 \text{ km}$ ,为地球与太阳的平均距离; $\rho_s$ 为航天器单元表面的球面反射率。

航天器单元表面在谱段  $\lambda_1 \sim \lambda_2$  范围内的总辐射出射度为:

$$W = W_{self} + W_{s-ref} \quad (15)$$

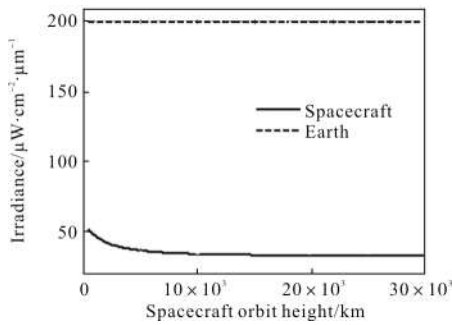
由于航天器的辐射特性与其几何外形尺寸、表面热控材料以及所在轨道高度和位置均有关联,因此需要通过具体模型论证航天器辐射造成虚警的可能性。文中采用参考文献[11]中的立方体航天器模型,这也是大多数航天器的基本结构之一,航天器模型几何尺寸与表面热控材料参数见表 3。通过代入航天器几何、材料和轨道参数,可以得到航天器整体的辐射出射度。

表 3 航天器模型的几何尺寸与表面热控材料参数

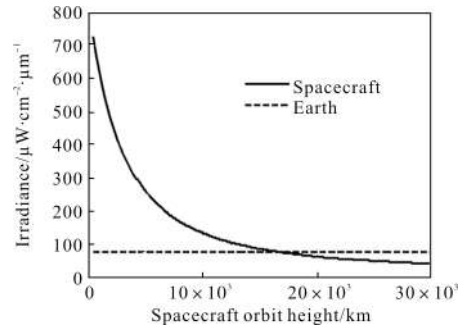
Tab.3 Geometry and surface thermal material parameters of the spacecraft model

Part	Size/cm	Surface material	Reflectivity	Absorptivity	Emissivity
Body	142×142×165	F46	0.02	0.35	0.68
Solar panel	600×150	Battery	0.03	0.82	0.81
		Blackboard	0.07	0.88	0.86

在不同轨道高度航天器的辐射出射度曲线如图 6 所示,可见在短波探测谱段,航天器的辐射出射度低于地球背景的辐射出射度,因此不会对红外预警卫星的探测造成影响;在中波探测谱段,航天器的辐射出射度在一定轨道高度范围内高于地球背景的辐射出射度,此时航天器不会淹没在地球背景之中,而且航天器的运动特性与弹道导弹相似,很



(a) 短波谱段  
(a) Short-wave band



(b) 中波谱段  
(b) Mid-wave band

图 6 航天器在不同轨道高度的辐射出射度曲线

Fig.6 Spacecraft irradiance curves at different orbit heights

可能会造成红外预警卫星虚警。

### 3 结果与分析

通过对红外预警卫星辐射环境进行分析计算,各种虚警辐射源在 2.63~2.83 μm 和 4.18~4.50 μm 谱段的辐照度如表 4 所示。

表 4 探测谱段内各辐射源的辐照度(单位: μm·cm<sup>-2</sup>)

Tab.4 Irradiance of radiation sources in the probe spectrum(Unit: μm·cm<sup>-2</sup>)

Spectral band	Background radiation	Direct solar radiation	Moon radiation	Planet radiation	Earth surface radiation	Spacecraft surface radiation (400 km orbit)
2.63~2.83	4.90	713.53	2.88×10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-12</sup> ~10 <sup>-5</sup>	199.16	52.09
4.18~4.50	1.89	216.28	3.71×10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-12</sup> ~10 <sup>-6</sup>	78.09	724.71

太阳直接辐射在短波探测谱段和中波探测谱段均对卫星探测器有较大的辐照度,会造成卫星探测器损坏,应进行规避;月球辐射在各探测波段对卫星探测器的辐照度均小于地球背景辐射,但是月球为面目标,当月球相对于卫星探测器的背景为宇宙背景时,镜头的聚焦作用仍会造成系统虚警;行星辐射在各探测波段对卫星探测器的辐照度均远小于地球背景辐射,并且行星(除地球外)相对于卫星探测器为点目标,镜头的聚焦作用也不足以使行星辐射对卫

星造成影响;近地轨道航天器辐射在 2.63~2.83 μm 短波探测谱段的辐射出射度小于地球背景的辐射出射度,不会对系统产生影响;在一定轨道高度范围内,近地轨道航天器辐射在 4.18~4.50 μm 中波探测谱段的辐射出射度大于地球背景的辐射出射度,不会淹没在地球背影中,而且航天器运动特性与弹道导弹相似,能够造成红外预警卫星虚警。

综上所述,月球和近地轨道航天器是红外预警卫星的主要虚警源。月球辐射对红外预警卫星探测

器的辐照度小于地球背景辐射,可以利用该辐射特性研究相应的背景抑制技术,屏蔽月球对红外预警卫星造成的影响;近地轨道航天器在短波红外探测谱段和中波探测谱段具有不同的辐射特性,可以利用该特性研究相应的虚警源识别技术。

#### 4 结 论

针对红外预警卫星所处的复杂空间辐射环境,在分析其探测谱段背景辐射特性并将其作为衡量基准的基础上,分析了可能对红外预警卫星探测造成影响进而导致虚警的空间辐射源及其辐射特性,结果表明:在红外预警卫星探测谱段,太阳直接辐射在探测器上的辐照度过大,应采取规避措施;月球辐射和近地轨道航天器辐射是引起红外预警卫星虚警的主要空间辐射源;行星辐射不会对卫星造成影响。月球辐射对红外预警卫星的影响主要来自镜头的聚焦因素,由于月球辐射对卫星探测器的辐照度小于地球背景辐射,利用该特性可以研究相应的背景抑制方法;近地轨道航天器辐射对红外预警卫星的影响发生在中波探测谱段,利用该特性可以研究相应的虚警源识别方法,从而降低红外预警卫星探测的虚警率。

#### 参考文献:

[1] Guo Wenge, Feng Shuxing. Analysis on US missile early warning system[J]. *Aerospace China*, 2005(12): 39-42. (in Chinese)  
郭文鸽, 冯书兴. 美国导弹预警卫星系统分析及其启示[J]. 中国航天, 2005(12): 39-42.

[2] Ye Qing, Sun Xiaoquan, Shao Li. Analysis of optimum detective wavebands for infrared early-warning satellite [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2010, 39(3): 389-393. (in Chinese)  
叶庆, 孙晓泉, 邵立. 红外预警卫星最佳探测波段分析[J]. 红外与激光工程, 2010, 39(3): 389-393.

[3] Ichiki K, Yoo C M, Oguri M. Relationship between the

CMB, SZ cluster counts, and local hubble parameter measurements in a simple void model [J]. *Physical Review D*, 2016, 93(2): 228-238.

[4] Hertel I V, Schulz C P. Atoms, Molecules and Optical Physics 1: Atoms and Spectroscopy [M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2015: 34-37.

[5] Selsis F. The Prebiotic Atmosphere of the Earth [M]. Netherlands: Springer, 2004: 279-280.

[6] Xu Xianghua, Liang Xingang, Ren Jianxun. Numerical analysis of thermal environment of lunar surface [J]. *Journal of Astronautics*, 2006, 27(2): 153-156. (in Chinese)  
徐向华, 梁新刚, 任建勋. 月球表面热环境数值分析[J]. 宇航学报, 2006, 27(2): 153-156.

[7] Feldman W C, Lawrence D J, Elphic R C, et al. Chemical information content of lunar thermal and epithermal neutrons [J]. *Journal of Geophysical Research Planets*, 2000, 105 (E8): 20347-20363.

[8] Williams D R. NASA science, planetary fact sheets [EB/OL]. [2018-6-26]. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planetfact.html>.

[9] Li Wenhao, Liu Zhaohui, Mu You, et al. Modeling and research of infrared characteristics of space target based on radiation dissipation [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2017, 46(6): 0604003. (in Chinese)  
李文豪, 刘朝晖, 穆猷, 等. 基于辐射散热的空间目标红外特性建模与研究 [J]. 红外与激光工程, 2017, 46(6): 0604003.

[10] Wang Hongyuan, Chen Yun. Modeling and simulation of infrared dynamic characteristics of space-based space targets [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2016, 45(5): 0504002. (in Chinese)  
汪洪源, 陈贇. 天基空间目标红外动态辐射特性建模与仿真[J]. 红外与激光工程, 2016, 45(5): 0504002.

[11] Wang Ying, Huang Jianming, Wei Xiangquan. Infrared imaging simulation of space target in orbit [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, 44(9): 2593-2597. (in Chinese)  
王盈, 黄建明, 魏祥泉. 空间目标在轨红外成像仿真[J]. 红外与激光工程, 2015, 44(9): 2593-2597.